

EL ENSAYO SE LLEVÓ A CABO EN LA VARIEDAD LANE LATE APLICANDO DOS DOSIS DIFERENTES DE NITRÓGENO

Movilización del nitrógeno de reservas en plantones de cítricos en función de la fertilización

Los órganos jóvenes en desarrollo de los cítricos necesitan grandes cantidades de nitrógeno. Sin embargo, la absorción del N por los cítricos no se realiza de forma constante a lo largo del año, siendo mínima durante el invierno, aumenta en primavera y es máxima durante el periodo de cuajado del fruto. Al inicio del ciclo vegetativo, coincidiendo con el momento de mayor requerimiento en N, la

absorción de este elemento se ve disminuida a causa de las bajas temperaturas. En estas circunstancias se produce la movilización, en hojas y órganos leñosos, del N de reserva hacia los órganos en desarrollo. El objetivo de este estudio es evaluar el efecto de la dosis de abonado nitrogenado sobre la movilización del N acumulado en los órganos de reserva hacia los nuevos órganos en desarrollo.



B. Martínez-Alcántara*; A. Quiñones, E. Primo-Millo y F. Legaz.

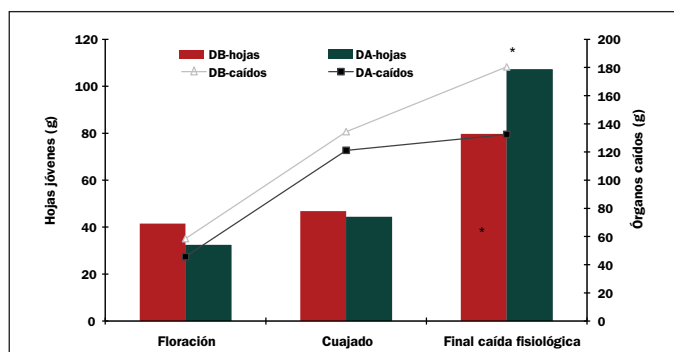
Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias.

Durante el ciclo vegetativo y reproductivo de los frutales, los árboles almacenan y movilizan nitrógeno (N), sin embargo, la pauta que siguen estos procesos viene claramente determinada por el hábito foliar de los mismos. En árboles de hoja caduca, previamente a la abscisión de las hojas, el N presente en éstas es transportado hacia los tejidos leñosos, principalmente raíces, donde será almacenado hasta el inicio de la floración en la siguiente primavera (Millard, 1996). En cambio, en árboles de hoja perenne, las hojas también se comportan como órgano de reserva (Millard *et al.*, 2001). Son numerosos los estudios sobre la movilización del N de reserva en frutales caducifolios como el manzano (Malaguti *et al.*, 2001), el peral (Tagliavini *et al.*, 1997) o el melocotonero (Tagliavini *et al.*, 1999). Sin embargo, son escasos los estudios que abordan este aspecto en los frutales de hoja perenne, y en concreto en los cítricos, siendo la mayoría estudios llevados a cabo en plantones cultivados en arena (Legaz *et al.*, 1982; Legaz *et al.*, 1995).

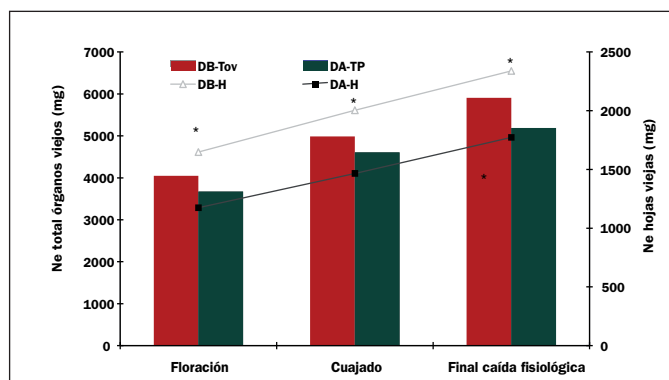
Los órganos jóvenes en desarrollo de los cítricos necesitan grandes cantidades de N como consecuencia de la activa división celular y la síntesis de proteínas. Sin embargo, la absor-

FIGURA 1.

Evolución del peso seco (g) de las hojas pertenecientes a las brotaciones en desarrollo y de los órganos caídos de árboles jóvenes de Lane Late fertilizados con una dosis baja (DB) o alta (DA) de nitrógeno.


FIGURA 2.

Nitrógeno exportado (Ne) por el conjunto de la planta (TP) y las hojas viejas (H) en árboles jóvenes de Lane Late fertilizados con una dosis baja (DB) o alta (DA) de nitrógeno.



ción del N por los cítricos no se realiza de forma constante a lo largo del año, siendo mínima durante el invierno, aumenta en primavera y es máxima durante el periodo de cuajado del fruto, inmediatamente después de la floración (Legaz *et al.*, 1982). Es por ello, que al inicio del ciclo vegetativo (brotación-floración en primavera), coincidiendo con el momento de mayor requerimiento en N, la absorción de este elemento se ve disminuida a causa de las bajas temperaturas. En estas circunstancias se produce la movilización, en hojas y órganos leñosos, del N de reserva hacia los órganos en desarrollo (Legaz *et al.*, 1995). Estudios previos sugieren una posible relación entre el papel que desempeña el N acumulado en los órganos de reserva, en el ciclo anterior, y el N aportado con el fertilizante durante el ciclo actual en el desarrollo de los órganos jóvenes de los cítricos (Martínez *et al.*, 2002; Quiñones *et al.*, 2005). El objetivo del presente estudio es evaluar el efecto de la dosis de abonado nitrogenado sobre la movilización del N acumulado en los órganos de reserva hacia los nuevos órganos en desarrollo.

Materiales y métodos

El ensayo se llevó a cabo en cítricos de la variedad Lane late (*Citrus sinensis* (L) Osbeck), injertados sobre citrange Carrizo (*Citrus sinensis* x *Poncirus trifoliata*), de cuatro años de edad, cultivados en contenedores de 40 litros con un suelo de textura franco arcillosa. Los árboles se mantuvieron en el exterior, bajo una estructura de techo transparen-

CUADRO I.

Distribución mensual de la solución nutritiva y cantidad de nitrógeno (dosis alta, DA y dosis baja, DB) aportada durante el segundo año del ensayo.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Total
Solución nutritiva (l-árbol⁻¹-mes⁻¹)	13,1	8,9	9,4	18,4	42,0	62,1	153,90
N fertilizante (g-árbol⁻¹-mes⁻¹)							
DB	-	-	0,39	0,77	1,76	2,61	5,54
DA			1,32	2,58	5,88	8,69	18,47

te de policarbonato, con el fin de resguardar la experiencia de las inclemencias climáticas.

En el primer año del estudio veintiuna plantas fueron fertilizadas con una solución 6,5 mM N (85% nitrato potásico y 15% nitrato cálcico), desde el inicio de la actividad vegetativa (principio de marzo) hasta el completo desarrollo del fruto (final de octubre). Con el fin de evaluar el movimiento del N en los distintos compartimentos de la planta, se empleó la técnica de dilución isotópica mediante la incorporación del isótopo estable ¹⁵N al fertilizante aplicado (5% átomos ¹⁵N exceso). Finalizado el periodo de marcado se extrajeron tres plantas para determinar el ¹⁵N acumulado en los órganos de reserva (hojas, tallo y raíces). Los dieciocho árboles marcados restantes fueron transplantados a raíz desnuda a contenedores con un suelo no marcado. Entre marzo y julio del segundo año de estudio, estos árboles recibieron una solución nutritiva 3 mM (dosis baja, DB) o 10 mM (dosis alta, DA) de nitrógeno (cuadro I), aplicado como nitrato potásico y cálcico no marcado. Desde el inicio de la floración hasta el final del cuajado se dispusieron mallas sobre los conte-

nedores con el fin de cuantificar las pérdidas de biomasa y N asociadas a los órganos caídos (botón floral, pétalos, frutos y hojas). Con el objetivo de evaluar la movilización del N se extrajeron tres árboles por tratamiento en los principales estados fenológicos del desarrollo del fruto: final de la floración (principio de mayo), cuajado-caída fisiológica del fruto (principio de junio), final de la caída fisiológica del fruto (principio de julio). Los árboles extraídos se fraccionaron en sus distintos órganos jóvenes (flores/frutos, hojas y ramas de las brotaciones de primavera y verano) y órganos viejos (hojas, ramas, tronco y sistema radical). En todas estas fracciones se determinó la concentración en N total, así como las proporciones isotópicas en ¹⁵N y ¹⁴N, mediante las técnicas de análisis elemental (NC 2500 Thermo Finnigan) y espectrometría de masas (Delta Plus Thermo Finnigan).

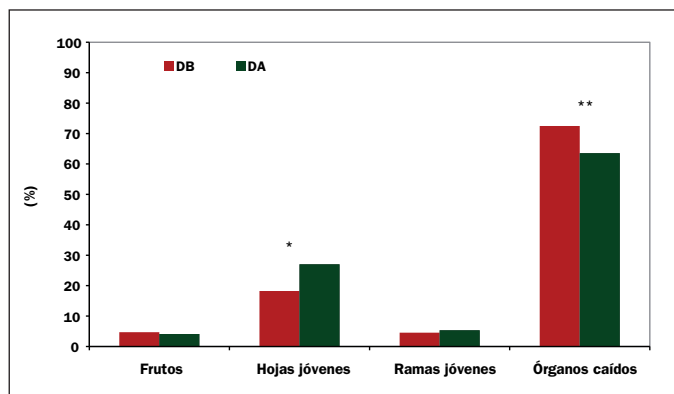
Resultados

Biomasa

Los árboles que recibieron la dosis alta (DA) de N mostraron, al final de la caída fisio-

FIGURA 3.

Distribución relativa del nitrógeno procedente de reservas entre los órganos jóvenes de árboles jóvenes de Lane Late al final de la caída fisiológica del fruto, fertilizados con una dosis baja (DB) o alta (DA) de nitrógeno.



lógica del fruto, un mayor desarrollo de las hojas pertenecientes a las nuevas brotaciones (**figura 1**) que los árboles fertilizados con la dosis baja (DB). Asimismo, al final del ciclo se registró una mayor abscisión de estructuras reproductivas en los árboles fertilizados con la DB. Sin embargo, tanto en el conjunto del árbol como en los órganos viejos no se apreciaron diferencias significativas en su peso total (datos no mostrados).

Concentración de N

En floración, las mayores concentraciones de N, con independencia del aporte de N, se observaron en los órganos jóvenes (**cuadro II**). Al final de la caída fisiológica del fruto, la concentración de N disminuyó con el desarrollo de los nuevos tejidos, especialmente en las hojas de las nuevas brotaciones, que durante esta etapa comienzan a ceder N al fruto en desarrollo (Mooney y Richardson, 1994). Los árboles que recibieron la DA de N presentaron una mayor concentración de este elemento en las flores/frutos en los tres estados fenológicos estudiados, mientras que las hojas de las nuevas brotaciones mostraron diferencias en este mismo sentido tan sólo en el cuajado. En los órganos viejos se observó un marcado decremento en la concentración de N en el periodo comprendido entre letargo y floración, permaneciendo prácticamente constante en los siguientes periodos. Es importante destacar que las hojas viejas de los árboles que reci-

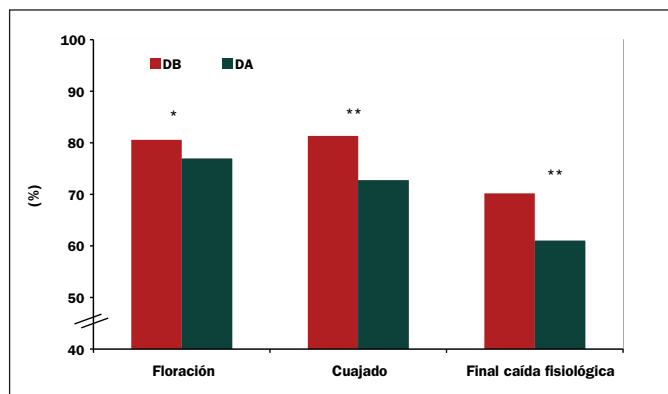
bieron la DA mostraron mayores concentraciones de N que las de los árboles de la DB, en todos los estados fenológicos estudiados. Al final de la caída fisiológica, los árboles que recibieron un mayor aporte de N (DA) mostraron concentraciones superiores de este elemento en todos los órganos viejos.

Nitrógeno exportado por los órganos de reserva

El marcado isotópico del N acumulado en la planta en el ciclo previo permitió el seguimiento de éste durante el periodo de movilización de reservas. En este sentido, la mayor actividad tuvo lugar entre el inicio de la actividad vegetativa y la floración, al principio del ensayo, periodo en que se cedió, con independencia del N aportado con el fertilizante, un promedio de 3.800 mg de N (**figura 2**), lo que representa aproximadamente el 70% del total de N exportado por los órganos viejos (Ne). Al final de la caída fisiológica, el Ne en los árboles que recibieron un menor aporte de N (DB) fue significativamente superior a los fertilizados con la DA. En todos los periodos estudiados, las hojas viejas de los árboles del tratamiento DB mostraron un mayor Ne que los que recibieron la DA de N (**figura 2**). Esta cantidad exportada por las hojas viejas representó en floración el 27% de su N de reserva para los árboles fertilizados con DA (**cuadro III**) y un 37% para los árboles de DB. Al final de caída fisiológica las hojas viejas de los árboles que recibieron un menor aporte

FIGURA 4.

Contribución relativa del nitrógeno procedente de reservas al total de este elemento en el conjunto de órganos jóvenes de árboles de Lane Late fertilizados con una dosis baja (DB) o alta (DA) de nitrógeno.



de N (DB) habían exportado más de la mitad (53%) del N que habían acumulado al final del ciclo anterior, mientras que en los árboles que recibieron un elevado aporte de N (DA) éstas exportaron sólo un 40%.

Nitrógeno en los órganos jóvenes procedente de reservas

La presencia de ^{15}N en los órganos jóvenes permitió identificar el destino del N exportado por los órganos de reserva. En floración, 4.090 y 3.491 mg de N procedente de reservas se acumularon en los órganos jóvenes en desarrollo, de los árboles de DB y DA, respectivamente. Dichas cantidades incrementaron de forma continua, haciéndose máximas al final de la caída fisiológica (6.179 y 4.961 mg N para la DB y DA, respectivamente), de forma paralela al Ne por los órganos viejos. En todos los momentos estudiados, el N procedente de reservas fue significativamente superior en los árboles que recibieron un menor aporte de N (datos no mostrados).

Con independencia de la cantidad de N aportada con el fertilizante, al final de la caída fisiológica del fruto, el principal destino del N exportado por los órganos de reservas fueron los órganos reproductivos en el árbol y los caídos (**figura 3**); dicha tendencia fue más acusada en el caso de los árboles de la DB debido por un lado a las mayores cantidades de N exportadas por los órganos viejos, así como a la mayor abscisión (**figura 1**) presentada en este tratamiento. El segundo sumide-

CUADRO II.

Evolución de la concentración de nitrógeno (% peso seco) en los distintos órganos de árboles jóvenes de Lane Late fertilizados con una dosis baja (DB) o alta (DA), en diferentes estados fenológicos.

	Letargo	Floración			Cuajado			Final caída fisiológica		
		DB	DA	ANOVA ²	DB	DA	ANOVA ²	DB	DA	ANOVA ²
Flores/frutos		2,40 ¹	2,68	*	1,90	2,17	*	1,82	2,16	**
Hojas jóvenes		3,21	3,51	NS	3,22	3,64	*	2,94	2,97	NS
Ramas jóvenes		2,47	2,39	NS	2,39	2,54	NS	1,95	1,93	NS
Órganos caídos		3,82	3,71	NS	3,19	3,10	NS	2,94	2,98	NS
Hojas viejas	3,10±0,34	2,42	2,54	*	2,45	2,67	*	2,35	2,55	*
Tronco y ramas	1,21±0,05	0,88	0,89	NS	0,89	0,95	NS	0,88	0,99	*
Sistema radical	2,05±0,24	1,82	1,81	NS	1,73	1,82	NS	1,70	1,85	*

²: Diferencias entre medias debido a la dosis de N aplicada; para $p>0,05$ (NS, no significativa), $p>0,05$ (*) en cada estado fenológico. ¹: Cada valor es la media de tres árboles.

CUADRO III.

Efecto de la dosis de N (alta, DA y baja, DB) en la proporción de nitrógeno presente en los órganos viejos que es exportada a lo largo del ciclo.

	Floración			Cuajado			Final caída fisiológica		
	DB	DA	ANOVA ²	DB	DA	ANOVA ²	DB	DA	ANOVA ²
Hojas viejas	37,3 ¹	26,6	*	45,4	33,2	*	53,0	40,2	*
Tronco y ramas	35,6	33,5	NS	40,6	34,7	NS	42,1	42,5	NS
Sistema radical	16,1	18,5	NS	21,8	26,9	NS	30,1	27,5	NS

²: Diferencias entre medias debido a la dosis de N aplicada; para $p>0,05$ (NS, no significativa), $p>0,05$ (*) en cada estado fenológico. ¹: Cada valor es la media de tres árboles.

ro principal fueron las hojas de las nuevas brotaciones; sin embargo, este fenómeno fue más acusado en los árboles de la DA, como consecuencia del mayor desarrollo de éstas en condiciones de elevado aporte de N (**figura 1**). La contribución del N procedente de reservas al total de N presente en los órganos jóvenes (**figura 4**) fue máxima al inicio del ciclo, con valores en torno al 80%. La disminución posterior de este porcentaje en ambos tratamientos indicaría la contribución creciente del N procedente del suelo y el fertilizante. En todos los estados fenológicos estudiados, la contribución del N procedente de reservas al total de N presente en los órganos jóvenes fue mayor para los árboles que recibieron un menor aporte de este elemento con el fertilizante (DB). Estos resultados confirmarían la hipótesis de una relación inversa entre la contribución relativa del N derivado del fertilizante y del procedente de las reservas al total de este elemento en los órganos jóvenes.

La mayor relevancia del N procedente de las reservas en los órganos jóvenes de los árboles que recibieron un aporte bajo de N, unido al incremento en las cantidades exportadas de este elemento en condiciones de un aporte

bajo de N, contrastan con los resultados obtenidos al respecto en árboles de hoja caduca.

Conclusiones

Con independencia de la dosis de N aportada, la mayor movilización de reservas se produce desde el inicio de la actividad vegetativa hasta la floración. En cambio, un menor aporte de N supone el incremento (+14%) en las cantidades de N exportadas por los órganos de reservas, siendo necesaria una mayor tasa de exportación, especialmente por parte de las hojas viejas, para cubrir las necesidades de los órganos en desarrollo. Los resultados presentados confirman por tanto la dependencia del N movilizado por los órganos de reservas con la disponibilidad de este elemento en el periodo comprendido entre floración y cuajado. ●

Agradecimientos ▼

Este trabajo ha sido financiado por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria y fondos FEDER (INIA, RTA04-064). Los autores agradecen a M.C. Prieto, J. Giner y T. García del IVA su apoyo técnico en la elaboración del presente trabajo.

Bibliografía ▼

- Legaz F, Primo-Millo E, Primo-Yúfera E, Gil C, Rubio L (1982) Nitrogen fertilization in citrus. Absorption and distribution of nitrogen in calamondin trees (*Citrus mitis* B1.), during flowering, fruit set and initial fruit development periods. Plant Soil 66 (3): 339-351
- Legaz F, Serna MD, Primo-Millo E (1995) Mobilization of the reserve N in citrus. Plant Soil 173: 205-210
- Malaguti D, Millar P, Wendler R, Hepburn A, Tagliavini M (2001) Translocation of amino acids in the xylem of apple (*Malus domestica* Borkh.) trees in spring as a consequence of both N remobilization and root uptake. J Exp Bot 52: 1665-1671
- Martínez JM, Bañuls J, Quiñones A, Martín B, Primo-Millo E, Legaz F (2002) Fate and transformation of ¹⁵N labelled applied in spring to Citrus trees. J Hort Sci Biotech 77(3): 361-367
- Millard P (1996) Ecophysiology of the internal cycling of nitrogen for tree growth. Z Pflanzenernähr Boden 159(1): 1-10
- Millard P, Hester A, Wendler R, Baillie G (2001) Interspecific defoliation responses of trees depend on sites of winter nitrogen storage. Funct Ecol 15: 535-543
- Mooney PA, Richardson AC (1994) Seasonal trends in the uptake and distribution of nitrogen in satsuma mandarins. 7th International Citrus Congress, 1992, Acireale, Italy, Proc Int Soc Citr 2: 593-597
- Quiñones A, Bañuls E, Primo-Millo E, Legaz F (2005) Recovery of the ¹⁵N-labelled fertiliser in citrus trees in relation with timing of application and irrigation system. Plant Soil 268: 367-376
- Tagliavini M, Quartieri M, Millard P (1997) Remobilised nitrogen and root uptake of nitrate for leaf growth, flowers and developing fruits of pear (*P. communis*) trees. Plant Soil 195(1): 137-142
- Tagliavini M, Millard P, Quartieri M, Marangoni B (1999) Timing of N uptake affects storage and remobilisation of nitrogen in nectarine trees. Plant Soil 211(2): 149-153